

# BEST AVAILABLE COPY

## Fiber amplifier

**Patent number:** DE10009380

**Publication date:** 2001-09-13

**Inventor:** TUENNERMANN ANDREAS (DE); GABLER THOMAS (DE); ZELLMER HOLGER (DE); KRAENERT JUERGEN (DE)

**Applicant:** SCHNEIDER LASER TECHNOLOGIES A (DE)

**Classification:**

- **International:** H01S3/102; H01S3/067

- **european:** H01S3/067G

**Application number:** DE20001009380 20000229

**Priority number(s):** DE20001009380 20000229

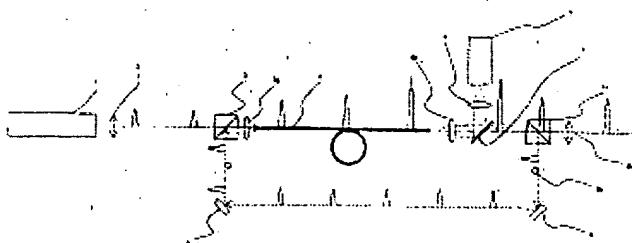
**Also published as:**

US2001017867 (A1)

Abstract not available for DE10009380

Abstract of correspondent: US2001017867

A fiber amplifier is disclosed comprising a signal source (oscillator), an amplifier fiber and a pump laser. The amplifier fiber is arranged between two polarizers and a portion of the beam that is depolarized in the amplifier fiber is coupled out at the amplifier output, returned to the amplifier input, coupled into the amplifier fiber with the radiation from the signal source and amplified again, and another portion, as linearly polarized beam, exits the fiber amplifier as useful beam



Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database - Worldwide

⑯ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 100 09 380 A 1

⑮ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
H 01 S 3/102  
H 01 S 3/067

DE 100 09 380 A 1

⑯ Aktenzeichen: 100 09 380.9  
⑯ Anmeldetag: 29. 2. 2000  
⑯ Offenlegungstag: 13. 9. 2001

⑯ Anmelder:

SCHNEIDER Laser Technologies Aktiengesellschaft,  
07548 Gera, DE

⑯ Vertreter:

Dr. Werner Geyer, Klaus Fehners & Partner, 80687  
München

⑯ Erfinder:

Kräner, Jürgen, Dr., 07749 Jena, DE; Gabler,  
Thomas, Dr., 99441 Kromsdorf, DE; Zellmer, Holger,  
Dr., 99441 Magdala, DE; Tünnermann, Andreas,  
Prof., 07743 Jena, DE

⑯ Entgegenhaltungen:

US 58 67 305  
US 57 34 667  
US 52 95 016  
US 50 88 095  
EP 09 11 926 A1  
WO 97 12 429 A1

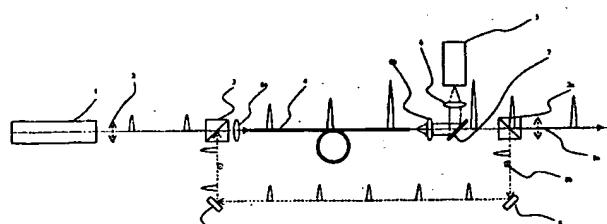
NA. K. W., u. a.: Small signal modulation responses of gainclamped erbium-doped fibre amplifiers.  
In: Electronics Letters, Vol. 35, No. 2,  
1999, S. 164-165;  
V. Dominic, St. MacCormack et al.: Now Fiber  
Laser CLEO 1999;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Faserverstärker

⑯ Die Erfindung betrifft einen Faserverstärker, bestehend aus einer Signalquelle (Oszillator 1), einer Verstärkerfaser (4) und einem Pump laser (5).  
Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß die Verstärkerfaser (4) zwischen zwei Polarisatoren (Polarisator 3, Analysator 3a) angeordnet ist und ein Teil der in der Verstärkerfaser (4) depolarisierten Strahlung am Verstärkerausgang (8a) ausgekoppelt, an den Verstärkereingang (2) zurückgeführt, in die Verstärkerfaser (4) mit der Strahlung der Signalquelle (1) eingekoppelt und erneut verstärkt wird und ein anderer Teil als linear polarisierte Strahlung den Faserverstärker als Nutzstrahl verläßt (Fig. 1).



DE 100 09 380 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Faserverstärker gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Faserlaser und Faserverstärker wurden in ihren Leistungsparametern auf extrem hohe Laserleistungen skaliert. Hauptvorteile sind die hohe Grundmodeleistung > 100 W (CLEO 1999, V. Dominic, St. MacCormack et al. "110 W Fiber Laser") bei einem Wirkungsgrad von über 50%. Dabei muß die Faser bedingt durch ihre große Oberfläche nicht mit Wasser gekühlt werden. Diese Eigenschaften erschließen ein weites Feld neuer Anwendungen, so z. B. in der Materialbearbeitung und Druckindustrie.

Nachteil der bisherigen Lösungen ist, daß diese Laser oder Verstärker in den meisten Fällen im cw-Betrieb laufen und nichtpolarisiertes Licht aussenden (WO 97/12429).

Weiterhin kann das Licht teipolarisiert sein. Hier zeigt sich aber, daß auch die Richtung der Polarisation sich spontan ändern kann. Dies wird z. B. durch die Änderung der Pumpleistung und Umgebungsbedingungen hervorgerufen. Ebenfalls ist es sehr schwierig, kurze Impulse (100 fs bis 50 ps) bei hohen Peakleistungen ohne spektrale und zeitliche Deformation zu verstärken. Hier wirken bedingt durch die große Faserlänge nichtlineare Effekte wie Selbstphasenmodulation und stimulierte Ramanstreuung.

Faserlaserverstärker für hohe Peakleistungen sind z. B. in US 5,867,305 beschrieben. Hierbei ist das Ziel, die Sättigung der Verstärkung zu erreichen und unerwünschte Streueffekte zu vermeiden. Dazu wird das Verstärkungsniveau mit der Impulsfolgefrequenz synchronisiert.

Die Erfindung soll eine Anordnung schaffen, die mit vergleichsweise geringem Aufwand eine hohe Ausgangsleistung des Laserlichtes mit einer vorgegebenen Polarisationsrichtung und mit möglichst guten Strahleigenschaften, z. B. Divergenz und Rauschen, liefert.

Die Aufgabe der Erfindung wird mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Die Unteransprüche sind vorteilhafte Ausgestaltungen des Hauptanspruches.

Gemäß der Erfindung wird ein Teil des im Faserlaser verstärkten Laserlichtes, das nicht in der vordefinierten Richtung polarisiert ist, zum Verstärkereingang zurückgeführt und in den Verstärkungsvorgang wieder eingespeist. Der andere Teil des verstärkten Laserlichtes mit der linearen Polarisationsrichtung wird der Nutzung zugeführt.

Durch die erfindungsgemäße Anordnung wird ein Faserverstärker vorgeschlagen, bei dem eine feste Lage der Polarisationsrichtung erreicht wird. Dieser Verstärker ist als regenerativer (Ring-) Verstärker aufgebaut und erlaubt die Verwendung von kurzen Faserlängen als Verstärkermedium. Diese Anordnung ist daher besonders für die Verstärkung von kurzen Impulsen mit hoher Leistung geeignet. Bei kurzen Faserlängen ist die Wirkung der nichtlinearen Eigenschaften von solchen Fasern niedrig (Impulsausdehnung zeitlich und spektral). Typische Faserlängen liegen im Bereich kleiner 10 m, typisch sind 2 m bis 5 m.

Der Faserverstärker wird nachfolgend an Hand von Figuren beschrieben. Es zeigen

Fig. 1: Grundprinzip der Anordnung für einen Faserlaser mit optischer Rückkopplung über Polarisatosteilung

Fig. 2: Steuerung der optische Rückkopplung bei vorhandener Teilpolarisation des verstärkten Laserstrahls

Fig. 3: Mischung der Polarisationsrichtungen zum Zwecke der Verstärkung und der Reduzierung von unerwünschten Polarisationszuständen

Das Prinzip der Anordnung wird in Fig. 1 beschrieben. Ein cw modensynchronisierter Oszillator 1 liefert einen Laserstrahl mit kurzen Impulsen (z. B. 7 ps), hoher Folgefrequenz und linearer Polarisation 2 in vertikaler Richtung.

Über einen Polarisator 3 und die Linse 6a wird der Laserstrahl 2 in den Faserverstärker eingekoppelt. Der Polarisator kann z. B. ein Glan-Thomsen Polarisator oder dielektrischer Dünnenschichtpolarisator sein. Er ist so eingestellt, daß die vertikale (oder gewünschte) Polarisationsrichtung des Oszillators 1, verlustfrei transmittiert wird und mit Hilfe der Linse 6a in den Faserverstärker 4 eingekoppelt werden kann. Der Faserverstärker 4 enthält eine Doppelkernfaser [2], wobei der äußere Kern als Pumpkern dient und das Pumplicht der Laserdiode 5 über die gesamte Länge der Faser führt und dabei gleichmäßig in den inneren Kern einkoppelt. Im inneren Kern erfolgt die Verstärkung der Laserimpulse des Oszillators 1. Bedingt durch Spannungsdoppelbrechung wird der linear polarisierte Strahl in seinem Polarisationsgrad im inneren Faserkern gestört. Dadurch wird ein Teil des Laserlichtes in andere Polarisationsrichtungen gedreht. Dieser Anteil kann sowohl durch die Lage der Faser 4, die Intensität der Pumpstrahlung 5, die Temperatur und natürlich durch die Eigenschaften und den Aufbau der Doppelkernfaser beeinflußt werden.

Über die Linsen 6 und 6b wird das Pumplicht vom Pumpaser 5 in den Doppelkern eingekoppelt. Die Linse 6b dient gleichzeitig zur Kollimierung der verstärkten Laserstrahlung und ist dichroitisch für die Pumpwellenlänge und die verstärkte Laserwellenlänge entspiegelt. Der Umlenkspiegel 7 ist hochreflektierend für die Pumpwellenlänge und hochtransmittierend für die verstärkte Laserwellenlänge und beeinflußt die Polarisierung nicht oder nur minimal.

Das verstärkte und teilweise depolarisierte Licht aus der Faser 4 wird dann mit Hilfe eines zweiten Polarisators 3a in zwei zueinander senkrecht polarisierte Strahlen 8a und 8b aufgespalten. Der Strahl 8a ist der Nutzstrahl und ist linear polarisiert. Die Lage der Polarisationsebene wird durch den Polarisator 3a vorgegeben.

Der Strahl 8b wird über die Umlenkspiegel 9 und den Polarisator 3 wieder in den Verstärker zurückgeführt und eingekoppelt. Dort wird dieser Strahl erneut verstärkt und teilweise in seiner Polarisationsrichtung gedreht und somit dem Nutzstrahl 8a zugeführt.

Die Steuerung der anteiligen Rückführung des Strahles 8b und Umwandlung in den Nutzstrahl 8a erfolgt in diesem Aufbau (Fig. 1) ausschließlich über die polarisierenden Eigenschaften der Faser 4.

Über Spannungsdoppelbrechung in der Faser kann der Anteil des Strahls 8b in seiner Intensität beeinflußt werden. Damit wird im Wechselspiel mit dem rückgeführten Anteil der Strahlung ein Regelmechanismus aufgebaut, der eine Leistungsoptimierung des linear polarisierten Nutzstrahls 8a ermöglicht.

In Fig. 2 ist zusätzlich vor dem Polarisator 3a ein  $\lambda/2$ -Platte 10 für die Laserwellenlänge des Verstärkers eingebracht. Durch Drehen dieser  $\lambda/2$ -Platte kann der Anteil des Strahls 8b in seiner Intensität beeinflußt werden, wenn der Strahl nach der Verstärkung teipolarisiert ist, d. h. der Strahl vor der  $\lambda/2$ -Platte.

In einer weiteren Ausführung wie in Fig. 3 gezeigt, wird vor der Einkopplung in den Faserverstärker der Laserstrahl 2 mit Hilfe einer  $\lambda/4$ -Platte 11 kreispolarisiert. Die Verstärkung des kreispolarisierten Laserstrahls führt dann dazu, daß kaum eine Vorzugsrichtung für die Polarisierung am Faserausgang des Verstärkers vorliegt. Dadurch werden dann die beiden Strahlen 8a und 8b in nahezu gleiche Anteile aufgespalten und ca. 50% wieder in den Verstärker zurückgeführt. Um eine ausreichende Sättigung bei der Verstärkung zu erreichen, wird in erster Linie die Dotierung mit dem Lasermaterial, die Faserlänge, die Pumpleistung sowohl auf der Verstärkerwellenlänge als auch auf der Pumpwellenlänge und die Rückkoppelrate optimiert. Bei der Optimie-

rung wird auf eine möglichst kurze Faserlänge hingearbeitet, um nichtlineare Effekte wie Selbstphasenmodulation und stimulierte Ramanstreuung zu minimieren. Diese wird durch den regenerativen Charakter dieser Verstärkeranordnung erzielt.

Besonders für die Verstärkung von kurzen Impulsen (100 fs–100 ps) ist diese vorgeschlagene Lösung interessant. Bei der Verstärkung können zwei Betriebsarten ermöglicht werden.

Der zurückgeführte Impuls im Strahl 8b kann zeitlich genau mit einem eintreffenden Impuls des Oszillators im Polarisator 3 überlagert werden, d. h. der Verstärker läuft synchron. Die zeitliche Überlagerung wird durch Angleichen der optischen Wegstrecken im Verstärkerzweig mit der optischen Wegstrecke für den Strahl 8b erreicht.

In der zweiten Betriebsart erfolgt die Verstärkung asynchron. Dabei erhöht sich die Impulsfolgefrequenz, weil der zurückgeführte Impuls im Strahl 8b nicht mit dem Impuls des Oszillators überlagert wird. Die Peakleistung bleibt dadurch geringer, aber die mittlere Leistung im Strahl 8a steigt dadurch.

chung der Verstärkersättigung ist.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

#### Patentansprüche

1. Faserverstärker, bestehend aus einer Signalquelle (Oszillator 1), einer Verstärkerfaser (4) und einem Pump laser (5), dadurch gekennzeichnet, daß die Verstärkerfaser (4) zwischen zwei Polarisatoren (Polarisator 3, Analysator 3a) angeordnet ist und ein Teil der in der Verstärkerfaser (4) depolarisierten Strahlung am Verstärkerausgang (8a) ausgekoppelt, an den Verstärkereingang (2) zurückgeführt, in die Verstärkerfaser (4) mit der Strahlung der Signalquelle (1) eingekoppelt und erneut verstärkt wird und ein anderer Teil als linear polarisierte Strahlung den Faserverstärker als Nutzstrahl verläßt.
2. Faserverstärker nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die depolarisierte Strahlung durch einen Analysator (3a) am Verstärkerausgang ausgekoppelt und durch einen Polarisator (3) am Verstärkereingang in die Faser eingekoppelt wird.
3. Faserverstärker nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Anteil der zurückgeführten Intensität am Verstärkerausgang über die Lage der Faser, Spannungsdoppelbrechung und die Pumpleistung der den Faserverstärker anregenden Wellenlänge eingestellt wird.
4. Faserverstärker nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Anteil der zurückgeführten Intensität bei vorhandener Teipolarisation am Verstärkerausgang über eine  $\lambda/2$ -Platte (10) für die Laserwellenlänge eingestellt wird.
5. Faserverstärker nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß eine  $\lambda/4$ -Platte (11) für die Laserwellenlänge am Eingang des Verstärkers steht und damit nahezu polarisationsunabhängig verstärkt wird und der Nutzstrahl und die zurückgeführte Strahlung sich in gleiche Anteile der Intensität teilen.
6. Faserverstärker nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß bei Impulsbetrieb synchron oder asynchron verstärkt wird oder ein cw-Betrieb erfolgt.
7. Faserverstärker nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Länge der Faser so kurz bemessen ist, daß nichtlineare Prozesse nicht in Erscheinung treten, wobei Kriterium für die jeweilige Länge die Errei-

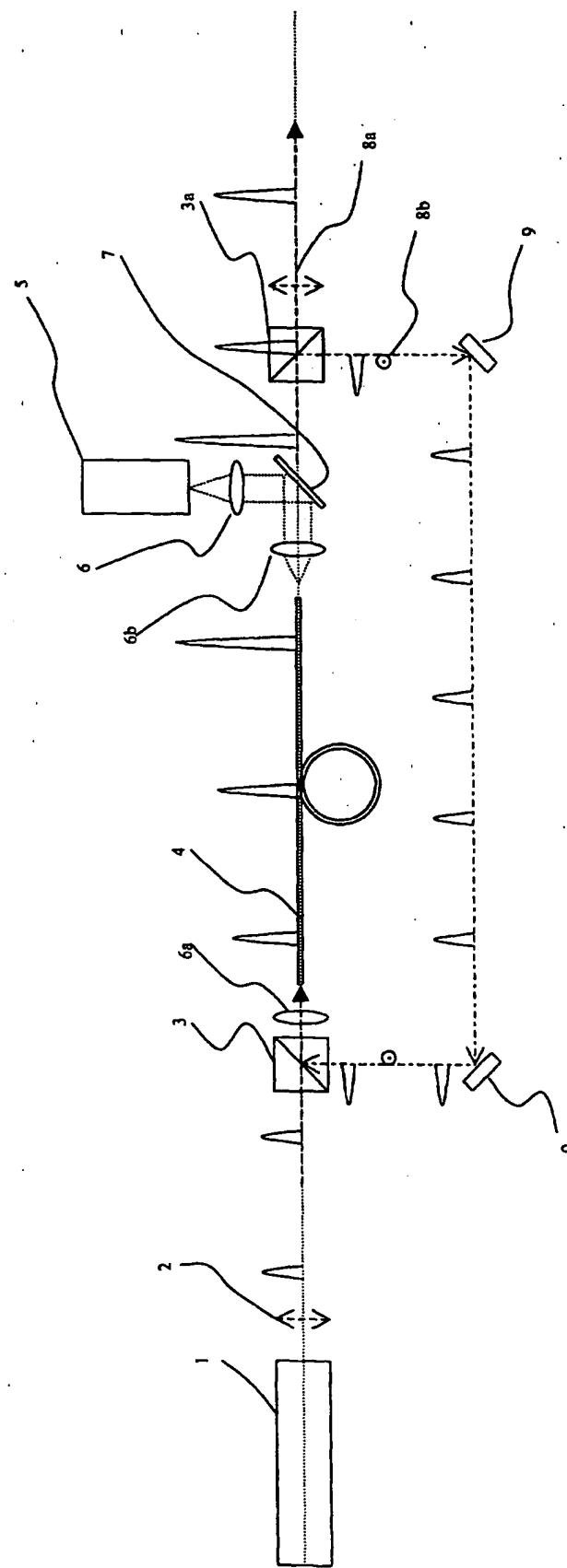


Fig. 1

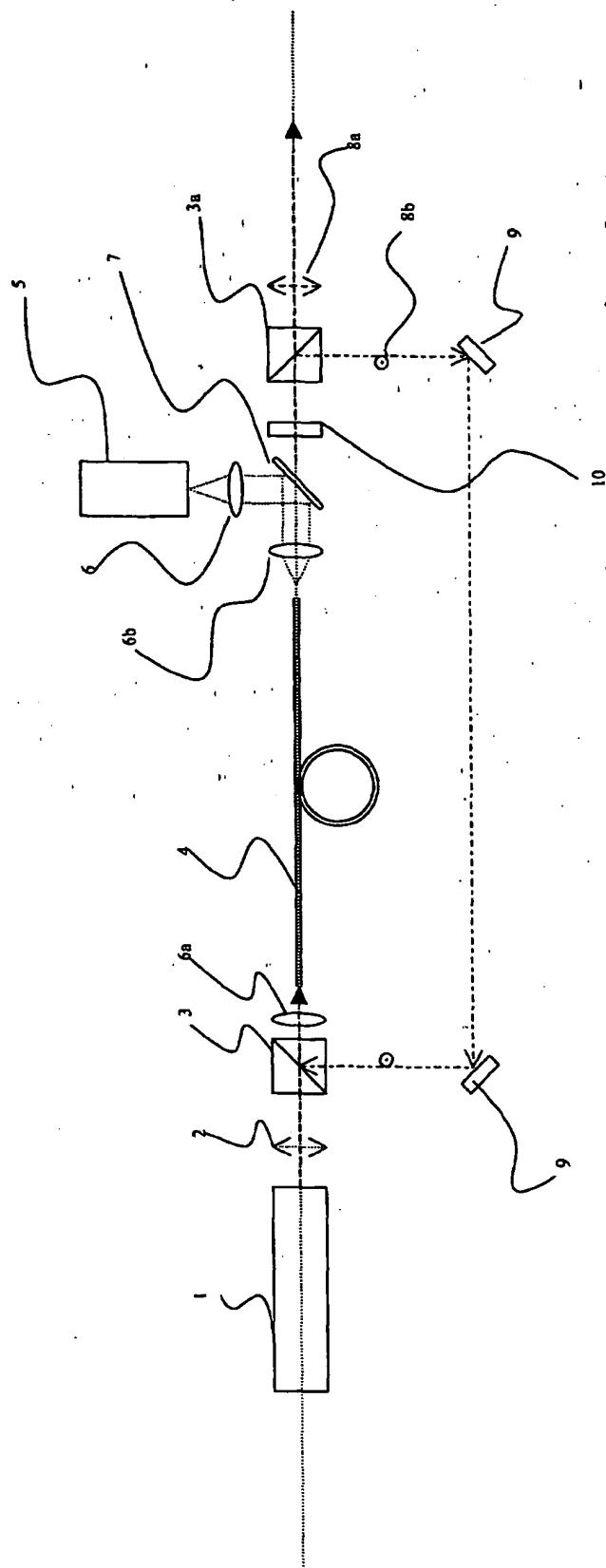


Fig.2

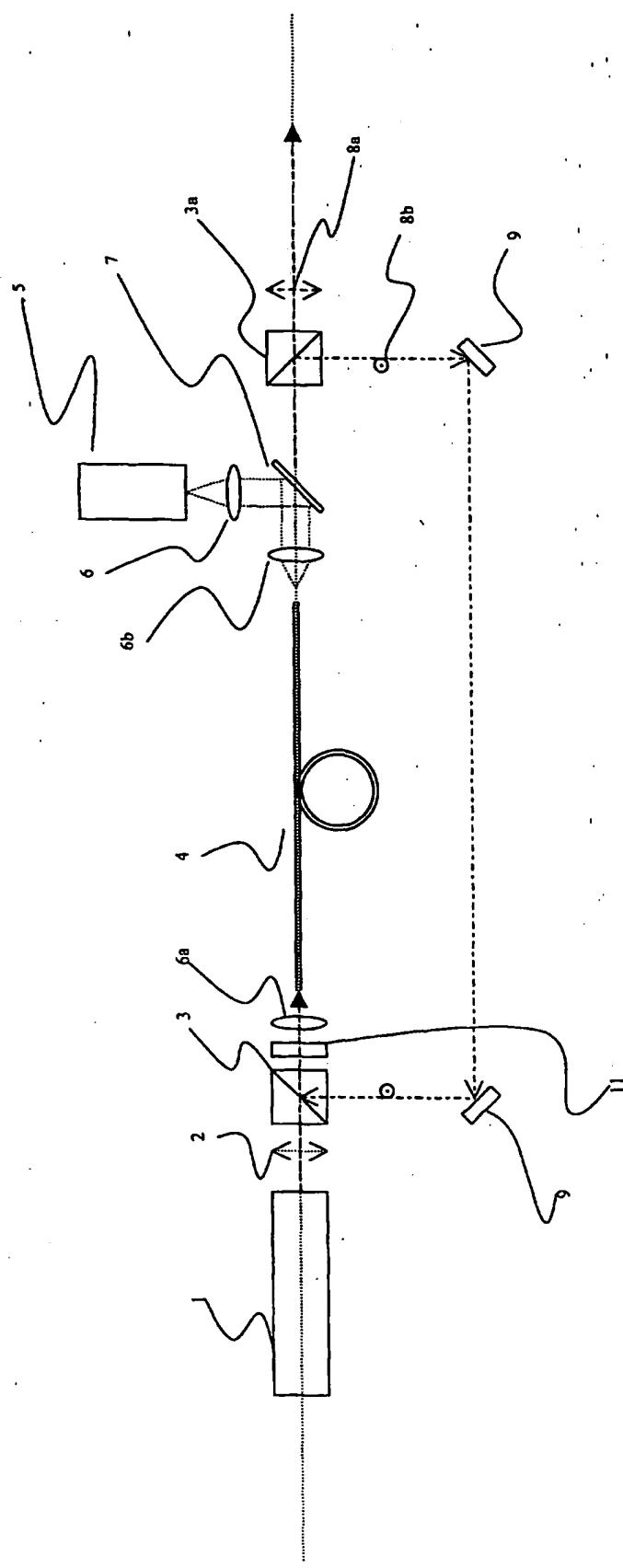


Fig. 3